

Approved For Release STAT
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130

Dec

Approved For Release
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130



**Вторая Международная конференция
Организации Объединенных Наций
по применению атомной энергии
в мирных целях**

A/CONF/15/P/23/7
USSR
ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

**РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ
ГИДРОБИОЛОГИИ**

**В.И.Медин, С.И.Кузнецов, Н.В.Тимофеев-
Ресовский**

1. Введение

Современная гидробиология - наука о жизни в воде и о взаимосвязях между водными организмами разных систематических категорий и с средой их обитания - главнейшими своими задачами ставит:

а) разработку теории биологической продуктивности водоемов и на ее основе изыскание способов повышения полезной продукции морей и пресных вод и б) изучение биологических путей освобождения водоемов от загрязнения промышленными сточными водами.

Биологическая продуктивность представляет собой естественное свойство водных организмов синтезировать, трансформировать и накапливать органическое вещество в конкретных условиях водоемов. Материал для синтеза и трансформации органического вещества поступает в водоем через сток с водосборной площади или через круговорот веществ внутри водоема; главными источниками энергии являются солнечный свет и тепло. Первоначальная работа по синтезу органического вещества из минеральных составных частей и углекислоты или по превращению мертвого органического вещества в живое производится множеством растительных и бактериальных организмов, обитающих в толще воды (планктон) и на дне (бентос) водоемов. Большая часть синтезированного растениями и бактериями органического вещества (в виде растительной или бактериальной пищи) потребляется беспозвоночными и позвоночными животными. В свою очередь, беспозвоночные и позвоночные животные идут в пищу другим животным. Так осуществляется трансформация органического вещества в пищевых

25 YEAR RE-REVIEW

-2-

(трофических) цепях. При этом часть отмирающего органического вещества выходит из круговорота и накапливается в виде донных отложений водоема.

Существующие схемы показывают, насколько сложны отношения между водными организмами и насколько различны по своей длине пути от первоначальной пищи до продукции водоема, используемой человеком.

Обычные методы гидробиологического исследования отражают преимущественно статику биологопродукционной картины водоема: количество (биомассу) бактерио-, фито- и зоопланктона, количество (биомассу) бентоса, в том числе и промысловых беспозвоночных и растений. Что касается динамики, интенсивности процесса воспроизводства биомассы организмов как промысловых, так и служивших им пищей, то они трудно поддавались познанию. До сего времени весьма спорными остаются величины переходных коэффициентов между количествами (биомассой) организмов различных звеньев пищевых цепей или трофических уровней. Внедрение в гидробиологию метода радиоактивных изотопов позволяет уже сейчас расшифровать и точно количественно оценить следующие стороны биологопродукционного процесса в водоемах: 1) количество поступающих в водоем биогенов через сток и судьбу этих биогенов в водоеме (путем меченья фосфора и других биогенов), 2) количество биогенов и мертвых органических веществ, утилизируемых бактерио- и фитопланктоном, 3) интенсивность процессов фотосинтеза и хемосинтеза на разных глубинах водоема (с помощью изотопа углерода), 4) интенсивность питания зоопланктона, зообентоса и рыб бактерио-, фито- и зоопланктоном/меченьем пищи), 5) интенсивность бактериальных процессов в донных отложениях (с применением радиоактивного изотопа серы).

По всем этим вопросам имеется значительная литература на русском, английском и других языках (Коффин и соавторы - Coffin a.al. (1), Гутчинсон и Боуэн - Hutchinson and Bowen (2), Стиман-Нильсен - Steemann Nielsen (3), Родина и Трошин (4), Кузнецов (5), Сорокин (6), Винберг, Годнев, Гапоненко (7), Улубекове и Кузьмина (8), Иванов (9), Хадин, Родина, Трошин (10) и многие другие).

Вторая крупная проблема гидробиологии - изучение биологических путей освобождения водоемов от загрязнения - тесно связана с первой, так как процессы самоочищения водоемов представляют собой

-3-

те же явления биологической продуктивности, но только осложнение специфической особенностью многих водных организмов аккумулировать в себе так называемые рассеянные элементы. Следует сказать, что до недавнего времени вопросы самоочищения водоемов изучались преимущественно в отношении органических загрязнений, которые несут с собой сточные воды городов, текстильни, кожевенной, целлюлозной и пищевой промышленности. Известное учение Кольквитца и Марсона, развитое в СССР Никитинским и Долговым, о зонах (ступенях) самоочищения водоемов и сапробности водных организмов основывалось исключительно на опыте борьбы с органическими загрязнениями. Напомню, что деятели санитарной гидробиологии различают три зоны сапробности, характеризующие степень минерализации поступивших в водоем загрязнений различными категориями водных организмов - полисапробную, мезосапробную и олигосапробную. Однако далеко не в каждом водоеме процесс самоочищения проходит так просто: в ряде случаев в реках возникают так называемые очаги вторичного загрязнения, в которых загрязняющими веществами становятся бактерии, грибы и другие организмы, которые в полисапробной и мезосапробных зонах были факторами очистки воды.

Нечто похожее наблюдается и при загрязнении водоемов промышленными сточными водами, и в частности отходами атомной промышленности. Подобно тому, как при загрязнении органическими веществами различаются три зоны самоочищения, так и при поступлении в водоем промышленных (соответственно-радиоактивных) загрязнений можно различать три зоны аккумуляции загрязняющих веществ: зону поднаккумуляции, мезонаккумуляции и олигонаккумуляции. Эти зоны образуются непосредственно в районе поступления загрязнений, в работе биологических факторов проявляется здесь по геохимическому, открытому Вернадским (И), принципу накопления. Это накопление, согласно Крумгольцу (Krumholz) (I2), Фостеру и Дэвис (Foster and Davis) (I3), осуществляется путем адсорбирования на поверхности тел организмов, абсорбированием из окружающей среды и поглощением с пищей, содержащей загрязняющие вещества. Помимо ясных зон аккумуляции радиоактивных веществ в водной толще и на дне водоемов при промышленном загрязнении, создаются вторичные и третичные очаги загрязнения, в которых аккумулируются рассеянные элементы, освобождающиеся при отмирании организмов в трех основных зонах аккумуляции. Действительное освобождение воды от

-4-

загрязняющих радиоактивных веществ наступает или в силу их естественного распада, или путем перевода их в донные отложения через аккумуляцию бентосными бактериями, растениями и животными, или вследствие выноса их в атмосферу насекомыми и птицами.

Литература по аккумуляции радиоактивных веществ морскими и пресноводными организмами еще более обширна, чем по вопросам применения радиоизотопов к изучению биологической продуктивности водоемов. Мы упомянем здесь работы Виноградова (14), Спукер (Spooker) (15), Чипмен, Райс и Прайс (Chipman, Rice & Price) (16), Чибэ и соавторов (Chiba a.al.) (17), исследования Тимофеевой-Ресовской (18) и другие.

В Советском Союзе ведутся исследования по обеим названным проблемам. Вопросы биологической продуктивности водоемов изучаются с применением радиоактивных изотопов углерода C^{14} , фосфора P^{32} , кальция Ca^{45} , серы S^{35} , а проблема изучения путей освобождения водоемов от промышленных загрязнений решается с применением изотопов стронция $Sr^{89,90}$, церия Ce^{144} , цезия Cs^{137} , рутения Ru^{106} , иттрия Y^{90} , циркония Zr^{95} и других.

2. Изучение биологической продуктивности водоемов

При изучении фотосинтеза с применением C^{14} Сорокин предложил новый вариант метода Стимена-Нильсена, отличающийся тем, что экспозиция образцов воды велась при естественном освещении, в противоположность искусственному, которое предлагал Стимен-Нильсен. Сорокин измерял первичную продукцию органического вещества фитопланктоном в северо-западной части Тихого океана. Было установлено, что процессы фотосинтеза наиболее интенсивно идут в прибрежных районах: в июне 1957 г. у восточного побережья острова Хоккайдо они давали до 5,1 г органического углерода под 1 кв. м за 24 часа. Наименьшая величина продукции - 0,006 г С л воды за 24 часа - была отмечена в теплых водах южного экваториального течения. Максимальная интенсивность фотосинтеза здесь была на глубине 10-25 м, что связано с большой прозрачностью воды.

В пресных водах интенсивность фотосинтеза весьма различна, даже в пределах одного и того же водоема. Сорокиным, Седмановым, Соколовой и Розановой была определена продукция органического вещества в Рыбинском и Горьковском водохранилищах на реке Волге.

-5-

Максимальная величина продукции в Рыбинском водохранилище за сутки достигала 5 000 т, а в Горьковском - 1 200 т. В 1957 г. была определена интенсивность фотосинтеза и в новом Куйбышевском водохранилище.

В настоящее время на некоторых озерах СССР производится сравнительное исследование разных методов определения первичной продукции озер - изотопного, кислородного и биомассового.

Как было установлено рядом исследований, в продукции органического вещества заметную роль, кроме фитопланктона, играют бактерии; они не только участвуют в процессах круговорота, но и служат источником питания для водных животных (Родина (19), Родина и Трошин (4)). Изучение работы автотрофных бактерий стало возможным только путем применения радиоактивных изотопов (Кузнецов 5) При изучении процессов хемосинтеза был использован тот же метод изолированных проб воды, но опыты, в целях исключения фотосинтеза, ставились в темных склянках. Кузнецов показал, что процессы хемосинтеза в воде озер дают не свыше 2% синтезируемого органического вещества. Сорокин на Рыбинском водохранилище установил, что наибольшей величины хемосинтез достигает в зимнее время в наиболее глубоких местах, где происходит накопление осадков, способных разрушаться с образованием метана, водорода или аммиака. Опыты с водой и илом показали, что окисление метана и водорода является основным источником энергии для развития автотрофных бактерий. Источником энергии для тионовых бактерий может быть окисление сероводорода до молекулярной серы и серной кислоты, как это наблюдалось Ляlikовой (20) на озере Беловодь.

Процессы круговорота веществ в водоемах, в частности круговорота серы, при применении изотопов получают новое освещение. Иванов (9), (21) показал, что процессы редукции сульфатов в озерах идут в основном в поверхностном слое донных отложений. Образование сероводорода в озере Соланом, например, в летний период достигает в поверхностном слое ила до 20 мг/л в сутки. При этом выяснилось, что интенсивность самого процесса не всегда находится в прямой зависимости от количества десульфуризирующих бактерий. Аналогичные данные получены Соколовой и Сорокиным для Рыбинского и Горьковского водохранилищ; установлено, что несмотря на небольшое количество сульфатов в воде Рыбинского водохранилища (не более 20 мг/л) в результате процессов редукции в илах может образоваться до 0,2 мг/л сероводорода в сутки.

-6-

Добавляя меченый сульфид в светлые и темные склянки с водой из Серного озера и помещая их обратно в водоем, Иванов изучил процесс окисления сульфидов. За сутки химическое окисление сульфида до серы составляло около 16%, за счет деятельности тионовых бактерий до 2%. До сульфатов химически окислялось только 2% сульфида тионовыми бактериями - до 9%, а пурпурные бактерии окисление сульфида вели непосредственно до сульфатов и окисляли за сутки около 23% сульфида.

Изотоп фосфора P^{32} , применявшийся канадскими и американскими исследованиями для изучения круговорота веществ в небольших озерах, нами (Жадин, Родине и Трошин (Ю) использовался при опытах по удобрению рыбоводных прудов. Опыты проводились в деревянных, изнутри покрытых парафином аквариумах объемом в 40 л под открытым небом. В аквариум № 1 вносилось комбинированное минеральное удобрение (сульфат аммония, хлористый калий, гашеная известь, радиоактивный фосфор в виде кислой фосфорно-кислой соли натрия с удельной активностью 162 микрокюри на 1 л.). В аквариум № 2 давали только фосфорное удобрение в виде того же радиоактивного изотопа фосфора. Через определенные промежутки времени для изучения распределения фосфора по компонентам водовместилища определялась радиоактивность в пробах нефильтрованной воды, воды, профильтрованной через мембранные фильтры, на предварительных мембранных фильтрах, задерживающих фитопланктон, и на мембранных фильтрах № 2, задерживающих бактерий. Для удаления возможных минеральных взвесей фильтры тщательно промывались дистиллированной водой. На фильтрах подсчитывалось количество бактерий и фитопланктона и вычислялся их вес (биомасса). В те же сроки определялась радиоактивность в зоопланктоне, в обрастаниях на стенках аквариумов, в элодее и песчаном грунте. Распределение радиоактивного фосфора по компонентам водоема исчислялось по величине коэффициента накопления / Q / =

$$= \frac{\text{количество имп/мин/г сырого веса пробы}}{\text{колич. имп/мин/мл отфильтрованной воды}}$$

Все определения производились в трех повторностях, вводились необходимые поправки. Хмелевой (22) при этой работе получены следующие результаты:

а) изменение активности профильтрованной через мембранный фильтр № 2 воды (т.е. воды, лишенной организмов) (рис.1). С первых же дней опыта активность воды в обоих аквариумах резко падает; однако

-7-

в дальнейшем в аквариуме № 1 с комбинированным минеральным удобрением падение активности идет быстрее, чем в аквариуме № 2 с одним фосфорным удобрением. В аквариуме № 1 минимум активности наступил на шестые сутки, причем концентрация радиоактивного фосфора равнялась 5,2% первоначальной концентрации; в аквариуме № 2 даже на двадцатый день активность держалась на высоком уровне, достигая 33% от первоначальной. Этот результат показал на явную связь изменения активности воды с характером минерального удобрения, подчеркнув преимущество комбинированного удобрения перед одним фосфорным;

б) накопление радиоактивного фосфора бактериопланктоном (рис.2) в первом аквариуме идет в среднем в 4,5 раза более интенсивно, чем во втором. Концентрация P^{32} в бактериях, населяющих 1 л воды, по сравнению с концентрацией изотопа в том же объеме воды составляла в аквариуме № 1 5,2-19,5%, а в аквариуме № 2 всего 1,5-4,5%. Соотношение величины накопления P^{32} бактериопланктоном и фитопланктоном в аквариуме с комбинированным удобрением было иным, чем в аквариуме с одним фосфорным удобрением. В первом случае до четвертого дня активность бактерий в 1 л воды была в 2-3 раза выше таковой фитопланктона, а затем она стала меньше, чем активность фитопланктона, и к двадцать пятому дню сделалась равной ей. Во втором случае почти в течение всего опыта накопление фосфора бактериопланктоном было выше, чем фитопланктоном. Коэффициент накопления фосфора для бактериопланктона в дни максимальной активности равнялся в аквариуме № 1 415 тысячам, а в аквариуме № 2 - 53 тысячам;

в) накопление P^{32} фитопланктоном (рис.3) в аквариуме с комбинированным удобрением было также выше, чем в аквариуме с одним фосфорным удобрением, что обуславливается большим количественным развитием планктона. Величина накопления находится, кроме того, в связи с видовым составом фитопланктона. В обоих сосудах до шестого дня опыта видовой состав был одинаков, и активность на единицу веса (не на количество планктона в единице объема воды) планктона была одинакова. Когда же к одиннадцатому дню в аквариуме № 1 вместо протококковых и диатомей появились вольвоксовые, относительная активность фитопланктона на единицу его веса снизилась почти в 10 раз. Коэффициент накопления фосфора для фитопланктона в первом аквариуме был выше, чем во втором примерно в 3,7 раза; максимальная

-8-

его величина равнялась 940 тыс., т.е. была выше, чем для бактериопланктона.

Единичные наблюдения над концентрацией фосфора зоопланктоном, состоявшем преимущественно из клadoцер, показали, что и здесь происходит постепенное накопление фосфора на единицу веса параллельно увеличению фосфора в бактериопланктоне и фитопланктоне, служащих пищей клadoцерам. Коэффициент накопления для зоопланктона в наших опытах оказался небольшим - 3,5 тысячи;

д) концентрация P^{32} элодеи, которая была только в аквариуме с одним фосфорным удобрением, в первый день была незначительной и составляла всего 0,36% от активности водного раствора. На второй день накопление элодеи фосфора увеличилось в 6,3 раза, на десятый день был достигнут максимум (15,7%). Коэффициент накопления низкий - 3,2 тысячи;

е) концентрация P^{32} в песке на единицу веса невелика, но если учесть все дно бассейна, то на нем накапливается до 30-40% всего вносимого с удобрением фосфора. При этом значительное количество P^{32} попадает на дно вместе с отмирающим планктоном. Установлено, что минимальное количество фосфора в грунте совпадает с максимальным количеством его в планктоне и обрастаниях;

ж) в аквариуме с комбинированным удобрением развилось большое количество обрастаний, состоявших из сувоек и диатомей. Максимальная активность этих обрастаний проявилась на шестой день, в последующие дни она (на единицу веса) сильно снизилась. Коэффициент накопления в момент максимального развития обрастаний равнялся 23,5 тысячи.

Изотоп кальция Ca^{45} применялся нами также при изучении действия удобрений на биологическую продуктивность прудов. Опыты ставились в тех же условиях, что и при работе с P^{32} . Радиоактивный изотоп кальция вносился в воду в виде $Ca^{45}Cl_2$. Один из аквариумов, куда вносился изотоп, удобрялся комбинированным минеральным удобрением, другой оставался без удобрения. В обоих аквариумах создавалась активность = 100 микроюри на 1 л. Систематически определялась активность раствора, профильтрованной воды, планктона, элодеи, грунта и в некоторых случаях обрастаний и зоопланктона. Были вычислены коэффициенты накопления. Шуваловым (23), который вел аналитическую работу, получены следующие результаты:

-9-

а) максимальная активность раствора (воды в аквариуме) приходится в обоих бассейнах на первые сутки наблюдений, после чего в течение всего опыта идет снижение активности, вначале быстрое, затем замедляющееся;

б) главным фактором понижения активности воды была элодея, особенно хорошо разросшаяся в удобренном аквариуме. Активность ее на единицу веса (1 г) выражалась сотнями тысяч импульсов в минуту. Коэффициент накопления выражался величинами от нескольких сот до 2,4 тысяч;

в) обрастания стенок аквариума показывали большую активность. Однако коэффициент накопления кальция для обрастаний не превышал 500.

г) активность планктона, не разделяющегося на составные части, достигала 3 миллионов импульсов в минуту на 1 г, однако ввиду бедности планктона, коэффициент накопления для него был мал;

д) грунт аквариума, состоявший из промытого песка, накапливает относительно мало кальция. Максимальная активность песка наблюдается в первый день, затем она понижается. Снижение активности песка точно согласуется с увеличением активности элодеи, что можно объяснить поглощением кальция растением из грунта.

Опыты с радиоактивными изотопами фосфора и кальция позволили обосновать систему удобрения прудов и получить хорошие практические результаты.

Различные изотопы, в частности P^{32} и C^{14} , применяются советскими гидробиологами при изучении питания водных беспозвоночных и решения вопроса об избирательности питания. Родина (24) в опытах с ракообразными, личинками тендипедид и моллюсками метила отдельные виды бактерий радиоактивным фосфором, выращивая их на средах с добавлением $K_2HP^{32}O_4$. Автором готовились смеси из одинакового количества различных видов бактерий, причем один из видов бактерий в каждой смеси был помечен радиоактивным изотопом фосфора. По интенсивности возрастания радиоактивности подопытных животных можно судить, какой вид бактерий воспринимается избирательно.

Сорокин (25) разработал прием метки водорослей и бактерий радиоактивным изотопом углерода. Питание клadoцер изучалось в естественной воде, а личинок тендипедид — в воде с илом, в чашках Петри. Животным давались водоросли и бактерии, меченные углеродом. По истечении срока опыта подопытные животные отсаживались в чистую воду

-10-

на такое время, чтобы их кишечники освободились от радиоактивного корма. После этого определялась активность животного под торцовым счетчиком. Зная удельную активность корма, можно легко рассчитать количество усвоенного углерода на единицу веса подопытного животного. Этими опытами установлено, что личинки тендипедид усваивают бактериальный корм и синезеленые водоросли, а дафнии - как бактериальную пищу, так и протококковые водоросли.

Используя изотопную методику, тот же автор показал, что в Рыбинском водохранилище зимой массовое скопление зоопланктона на глубине 8-12 м (над бывшим руслом реки Мологи) совпадает с зоной, в которой активно протекает процесс хемосинтеза за счет окисления метана, выделяющегося из донных отложений. Непосредственное наблюдение над дафниями в опытах с естественной водой, куда добавлялся $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$ для определения хемосинтеза, показало, что дафнии даже за короткий срок и при низкой температуре приобретают большую активность.

3. Изучение биологических путей очистки радиоактивных сточных вод

Вопросы очистки вод от радиоактивных загрязнений биологическими средствами изучаются в настоящее время многими советскими исследователями (Агафонов (26), Тимофеев-Ресовский (27), Тимофеева-Ресовская (18) и др.). Как и при биологопродукционных работах, изучается распределение различных радиоактивных веществ между компонентами водоемов и накопление отдельных радиоактивных изотопов разными группами водных организмов. Кроме того, ставятся опыты по биологической очистке радиоактивных сточных вод в специально конструируемых бассейнах.

а) Распределение различных радиоизотопов между водой, грунтом и населением водоема изучается в стеклянных аквариумах и бассейнах разной величины. В сосуды кладется грунт, наливается вода и вносятся водные растения, планктон и обростания. Сюда же прибавляют раствор того или другого изотопа в таком количестве, чтобы создать его исходную концентрацию в воде порядка 1 микрокури на 1 литр по бета-излучению; в некоторых опытах эта концентрация изотопа поддерживается повторными добавками. Изученные до сего времени радиоактивные изотопы фосфора, серы, железа, кобальта, цинка, стронция, иттрия, рутения, германия, цезия, церия так же, как и смесь изотопов в неразде-

-11-

ленном растворе осколков урана, при внесении в аквариум более или менее быстро снижают свою концентрацию в воде и обнаруживаются в грунте и в водных организмах планктона, бентоса и обростаний. Быстрее и полнее всего происходит снижение концентрации в воде иттрия, ниобия и церия, а медленнее всего - стронция и рутения (рис.4). Большая часть этих изотопов переходит в грунт, где наивысшие концентрации дает цезий, а относительно низкие - сера, иттрий, рутений и церий. Значительное количество изотопов накапливается в телах водных организмов, в которых создаются концентрации элементов, в сотни, тысячи и десятки тысяч превышающие таковые в воде. Сильнее всего живыми организмами накапливаются фосфор, цинк и церий, а слабее всего - сера, стронций и цезий.

Даже сравнительно непродолжительные опыты показывают, как коренным образом меняется распределение радиоактивных изотопов в бассейнах: большая часть их переходит из воды в грунт и в водные организмы (рис.5). В опытах же, длящихся от полугода до года, в бассейнах образуются донные отложения, концентрирующие в себе наибольшее количество радиоактивных веществ.

б) Накопление различных радиоизотопов отдельными группами и видами пресноводных организмов оценивается величиной упоминавшегося выше коэффициента накопления, выражаемого отношением концентраций излучателя в изучаемом объекте и в окружающей его воде. В опытах Агафонова и Тимофеевой-Ресовской, посвященных изучению распределения внесенных в воду излучателей по основным компонентам водоема, водное население (биомасса) рассматривалась суммарно; однако известно, что коэффициенты накопления разных элементов разными видами животных и растений бывают весьма различными, в связи с физико-химическими свойствами химических элементов и физиологическими особенностями разных видов живых организмов. Из множества накопившихся данных можно считать, что коэффициенты накопления по всем изученным элементам для высших водных растений равны сотням и тысячам, для бентических беспозвоночных они примерно таковы же, для планктона и обростаний они достигают тысяч и десятков тысяч, для детрита и свежих иловых отложений они превышают десятки тысяч. Соответствующие средние коэффициенты накопления для разных групп пресноводных организмов в отношении отдельных элементов равняются: в отношении серы - десяткам, стронция, германия и цезия - десяткам и сотням, железа, кобальта и рутения - сотням и тысячам, фосфора,

-12-

цинк, иттрия и церия - тысячем и десяткам тысяч. Эти величины, однако, представляют собой весьма грубые усреднения. Как среди растений, так и среди животных встречаются, по-видимому, специфические накопители определенных элементов. Так, например, риска дает относительно высокие (порядка тысяч) коэффициенты накопления, биологически вообще весьма инертного, элемента цезия; некоторые же моллюски и речки весьма интенсивно и необратимо концентрируют стронций в своих раковинах и панцирях. На рис.6 приведены для различных элементов коэффициенты накопления (усредненные из разных опытов) элодеи и прудовиком; на этом примере ясно видны различия в коэффициентах накопления разных элементов. В табл.1 приведены примеры, показывающие заметные различия в коэффициентах накопления одних и тех же элементов разными, хотя и близкими видами пресноводных организмов.

Относительно высокие коэффициенты накопления разных элементов пресноводными организмами, находящиеся как в сравнительно краткосрочных, так и в весьма продолжительных опытах, показывают, что накопление происходит сравнительно быстро, а отдача протекает крайне медленно. Но и в этом отношении между разными элементами и разными видами наблюдаются количественные различия, определяемые в общем степенью интенсивности обмена данного элемента у того или иного вида живых организмов.

Таблица 1

Коэффициенты накопления различных элементов в теле,
раковине и в среднем общем весе (тело, раковина) ,
разных видов моллюсков

Виды	Объекты	Коэффициенты накопления по элементам					
		P ³²	Zn ⁶⁵	Sr ⁹⁰	Ru ¹⁰⁶	Cs ¹³⁷	Ce ¹⁴⁴
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Limnaea stagnalis</i>	Тело	4796	273	654	177	420	4320
	Раковина	266	33	5550	80	6	38
	Общий	2540	150	3100	100	245	236
<i>Radix auricularia</i>	Тело	2643	587	86	93	1345	2560
	Раковина	1306	29	44	110	81	240
	Общий	1740	220	59	98	550	1060

-13-

1	2	3	4	5	6	7	8
Radix ovata	Тело	17966	-	139	462	740	11060
	Раковина	1039	-	492	130	48	3250
	Общий	9400	-	320	295	390	7130
Calba palustris	Тело	59100	-	240	156	-	-
	Раковина	1026	-	764	75	-	-
	Общий	20800	-	585	98	-	-
Bithynia leachi	Тело	8293	853	88	480	2480	7550
	Раковина	1017	151	131	272	159	1572
	Общий	3180	345	118	340	1360	3300
Anodonta cellensis	Раковина	-	-	58,5	157	28	384
	Мантия	-	-	193	62	178	286
	Жабры	-	-	975	66	315	159
	Нога	-	-	32	32	710	160
	Внутренние органы	-	-	61	700	824	2282
(по Гецовой и Ляну- мовой)							

Упомянутые опыты показали, что большинство практически наиболее важных радиоактивных изотопов сравнительно быстро переходят из воды в грунт, в водные организмы, детрит и свежие донные отложения. Кроме того, в ряде специальных опытов была показана относительно высокая степень сорбции этих элементов грунтами, почвами и взвешенными веществами, а также относительно большая емкость последних. Наконец, в целом ряде опытов было показано, что большинство пресноводных организмов выдерживает, несмотря на высокие коэффициенты накопления, длительное пребывание в воде, содержащей радиоизотопы в концентрациях до 10 микрокюри на литр без заметного снижения темпов прироста. В ряде случаев наблюдается даже заметная радиостимуляция при низких концентрациях излучателей в воде; на рис. 7 приведен пример значительного ускорения прироста общей биомассы прудового перифитона при концентрациях смеси излучателей в воде от 10 до 500 микрокюри на 1 л.

-14-

На основании всех этих данных естественно родилась мысль о возможности биологической очистки загрязненных излучателями или слабыми концентрациями токсичных стабильных изотопов сточных вод. Опыты по биологической очистке радиоактивных сточных вод были поставлены в серии полублабораторных слабопроточных бассейнов и в серии прудов-отстойников, суточный сброс воды в которых равнялся примерно 1/50 объема воды в серии. В этих условиях большинство испытанных элементов практически целиком сорбируется грунтом непосредственно или с помощью организмов, населяющих бассейн. Лишь сера и рутений в небольшом количестве проходили через все отстойники.

Л и т е р а т у р а

1. Goffin C.C., Hayes F.R., Jordey L.H. and Whiteway S.G. Exchange of materials in a lake as studied by the addition of radioactive phosphorus. Canadian Journ of Res., 1949, 27, sect. D
2. Hutchinson G.A. and Bowen V.T. A direct demonstration of the phosphorus cycle in a small lake. Proc. Nat. Acad. Sci., 1947, 35
3. Steemann-Nielsen E. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the oceans. Journ. Cons., 1952, 18
4. Родина А.Г. и А.С.Трошин. Применение меченых атомов в изучении питания водных животных. Доклады Академии наук СССР, 1954, 98, (2)
5. Кузнецов С.И. Использование радиоактивной углекислоты C^{14} для определения сравнительной величины фотосинтеза и хемосинтеза в ряде озер различных типов. Тр. совещания по применению меченых атомов в микробиологии. Изд.АН СССР, 1957
6. Сорокин Д.И. О применении радиоактивного углерода C^{14} для изучения первичной продукции водоемов. Тр. Всесоюзного гидробиолог. общ. VII, 1956
7. Винберг Г.Г., Годнев Т.Н. и Гапоненко В.И. Опыт применения радиоизотопа фосфора при изучении удобрения прудов. Доклады Академии наук СССР, 100, (3), 1955

-15-

8. Улубекова М.В. и Кузьмина Л.А. Применение C^{14} к изучению фоторедукции и хемосинтеза у зеленых водорослей. Доклады Академии наук СССР, 93, (5), 1953
9. Иванов М.В. Применение изотопов для изучения интенсивности процесса редукции сульфатов в озере Беловодь. Микробиология, 25, (3), 1956
10. Жедин В.И., Трошин А.С. и Родина А.Г. Изучение биологической продуктивности водоемов при помощи радиоизотопов. Тезисы докл. на Всесоюзной конф. по применению изотопов и излучений в нар.хоз. и науке. II, 1957
11. Вернадский В.И. О концентрации радия живыми организмами. Доклады Академии наук СССР, 2, 1929
12. Krumholz L.A. A summary of findings of the ecological survey of White Oak Creek, Roane County, Tennessee. 1950-1953. Fish and Game Branch., Div. Forest Relations, Tennessee Valley Authority
13. Foster R.T. and Davis F.J. The accumulation of radioactive substances in aquatic forms. Proc. Intern. Conf. on the Peaceful uses of Atomic Energy. 13
14. Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря. Тр. биогеохимической лабор. Академии наук СССР, 3, 4, 6, 1935-1944
15. Spocker G.M. Observations on the absorption of radioactive strontium and ittrium by marine algae. J. Mar. Biol. Assoc., 28, 1949
16. Chipman W.A., Rice T.R. and Price T.J. Accumulation of fission products by marine plankton, fish and shellfish. Progress Report, Fishery Radiobiol. Labor. US. Fish and wild life service. 1954-1955
17. Chiba T.A. Tsuruta and Maeda H. Report on Zooplankton samples hauled by larva-net during the cruise of Bikini-Expedition, with special references to Copepods. Journ. of the Shimonoeski College of Fish., 5, (3), 1955

-16-

18. Тимофеева-Ресовская Е.А. Почвенно-биологическая дезактивация воды в прудах-отстойниках. Бюлл. Моск. общ. исп. природы, отд. биологии, 92, (1), 1957
19. Родина А.Г. О роли отдельных групп бактерий в продуктивности водоемов. Тр. пробл. и темат. совещ. Зоол. инст. АН СССР, 1, 1951
20. Ляликова Н.Н. Изучение процесса усвоения свободной CO_2 пурпурными серобактериями в озере Беловодь. Микробиология. 26, (1), 1957
21. Иванов М.В. Изучение интенсивности процесса круговорота серы S^{35} . Доклад на VI совещании по биологии внутренних вод. Лгр., 1957
22. Хмелева Н.Н. Опыт применения радиоактивного фосфора (P^{32}) при изучении минерального удобрения прудов. Доклад на VI совещании по биологии внутренних вод. Лгр., 1957
23. Шувалов Д.С. Опыт применения радиоактивного кальция (Ca^{45}) в исследовании минерального удобрения прудов. Доклад на VI совещании по биологии внутренних вод. Лгр., 1957
24. Родина А.Г. Возможность использования метода меченых атомов для решения вопроса о выборности пищи у водных животных. Зоол. журн., 36, (3), 1957
25. Sorokin J.I. The results and prospects of using radioactive C^{14} for a study of organic matter cycle in water bassins. Unesco NS (Rio) 140, 1957
26. Агафонов Б.М. Лабораторные опыты по биологической дезактивации воды в сериях водоемов-бачков. Бюлл. Уральск. отд. Моск. общ. испыт. природы, 1958, I, (1)
27. Тимофеев-Ресовский Н.В. О применении биофизических методов в биогеоценологии. Ботан. журн., 42, 1957

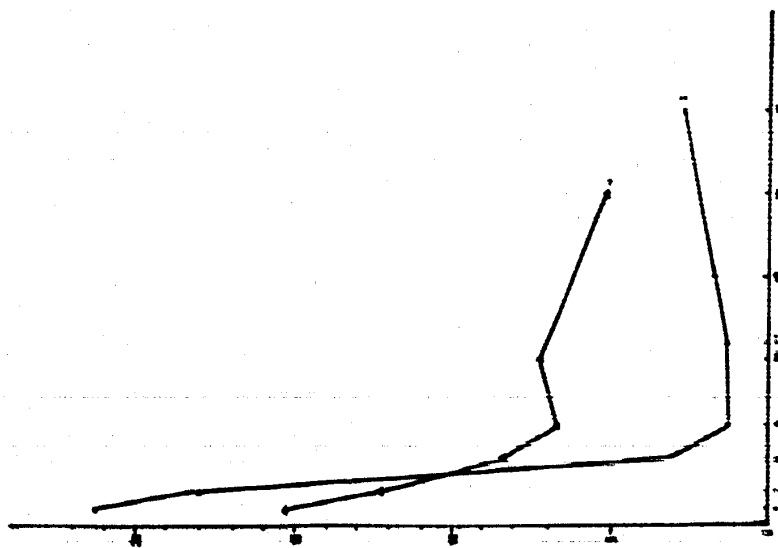


Рис. 1. Изменение радиоактивности воды в аквариумах с различными удобрениями: 1 - аквариум № 1 с комбинированным удобрением, 2 - аквариум № 2 с одним фосфорным удобрением. По вертикальной оси - мин. имп / мин / л; по горизонтальной оси - количество дней

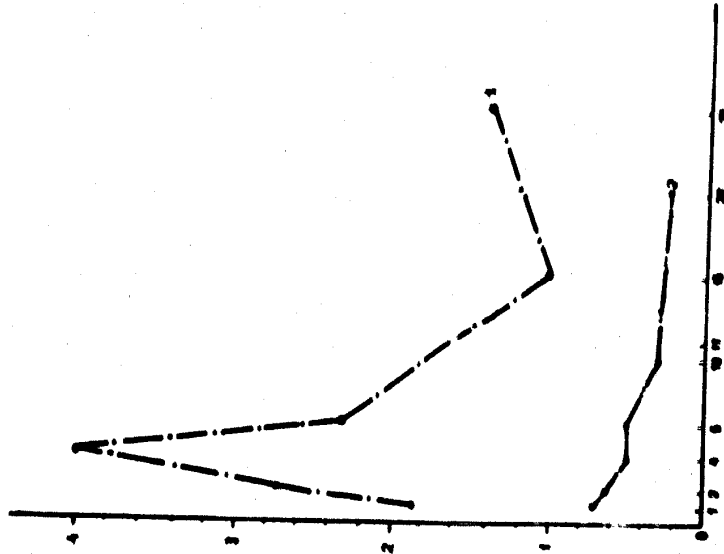


Рис. 2. Накопление радиоактивного фосфора бактериями планктоном. Обозначения те же

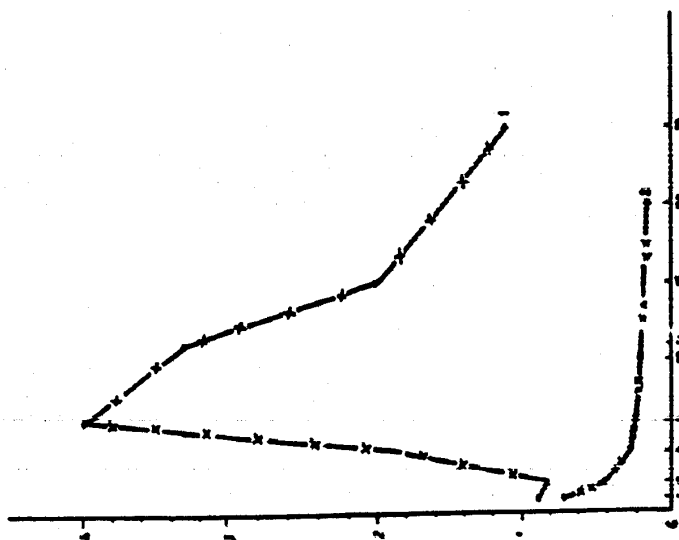


Рис.3. Накопление радиоактивного фосфора фитопланктоном. Обозначения те же

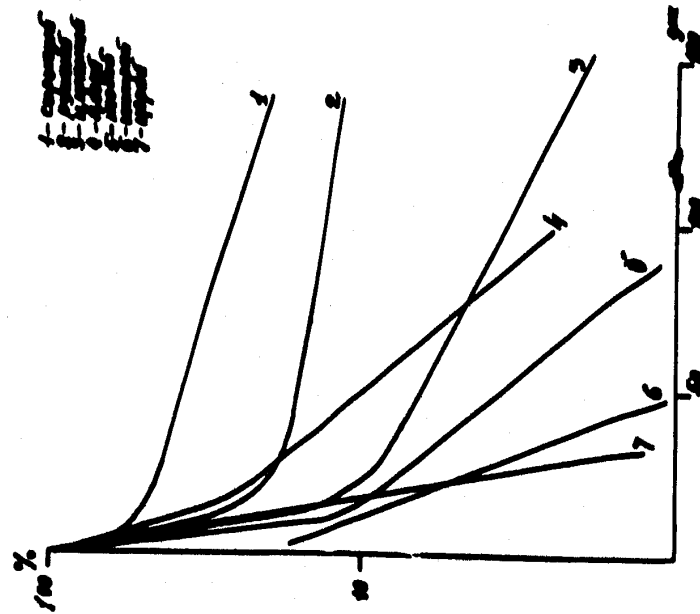


Рис.4. Кривые падения концентрации различных радиоизотопов в среде: 1 - стронций, 2 - рутений, 3 - церий, 4 - цезий, 5 - ниобий, 6 - молибден, 7 - церий

-19-

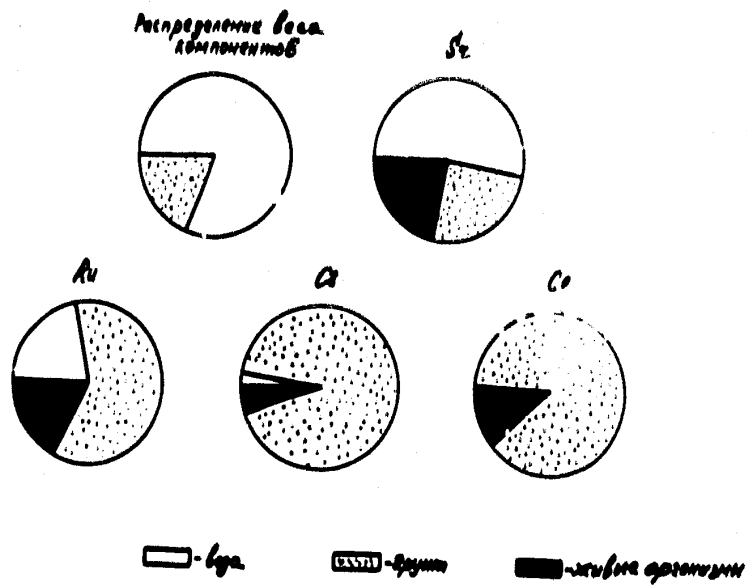


Рис.5. Баланс радиоактивности в некоторых опытах с аквариумами. Левый верхний круг показывает распределение веса по компонентам

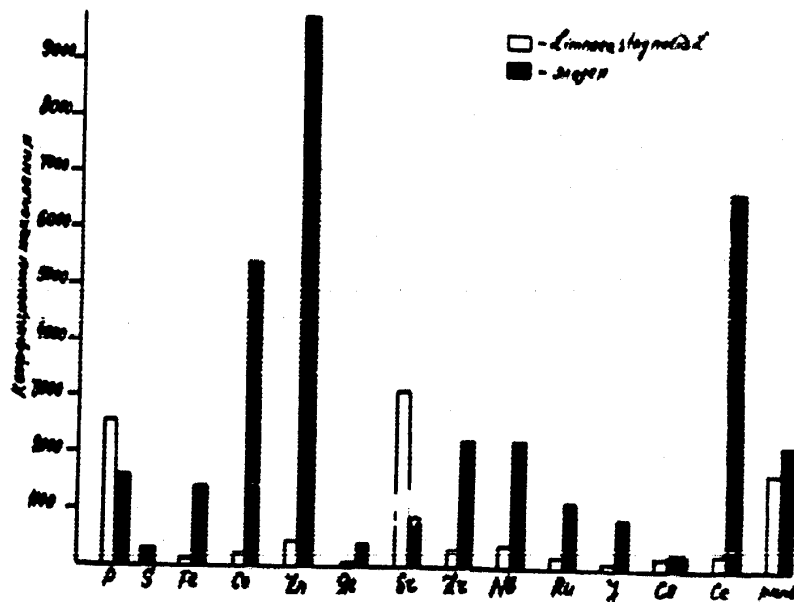


Рис.6. Коэффициенты накопления различных радионуклидов прудовиком и рыбой

-20-

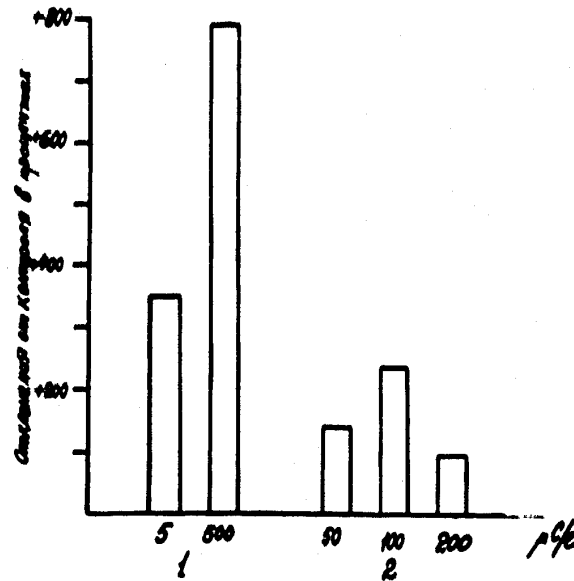


Рис.7. Прирост биомассы перифитона в процентах от контроля